

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

①②② Date de dépôt : 22.02.01.

①③① Priorité :

①④③ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 23.08.02 Bulletin 02/34.

①⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

①⑥① Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

①⑦① Demandeur(s) : ADHOUTE HERTSEL — FR.

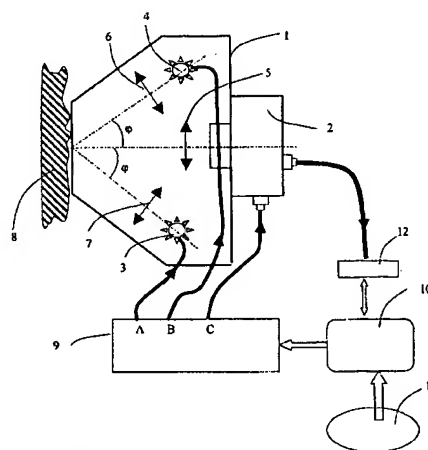
①⑦② Inventeur(s) : ADHOUTE HERTSEL.

①⑦③ Titulaire(s) :

①⑦④ Mandataire(s) : CABINET LEPEUDRY.

①⑤④ DISPOSITIF PHOTOGRAPHIQUE DE MESURE SANS CONTACT ET DE REPRESENTATION 3D DU MICRO  
RELIEF CUTANE.

①⑤⑦ Procédé et dispositif permettant de réaliser une mesure de la rugosité ou du micro relief d'une surface 8, notamment de la peau d'un sujet vivant, caractérisé en ce qu'il comprend, en combinaison, deux sources lumineuses 3 et 4 convenablement disposées de part et d'autre du plan médian de la surface à étudier et émettant chacune un faisceau dirigé vers ladite surface, un capteur photo 2 disposé entre les deux sources lumineuses et destiné à capter sous une forme préférentiellement numérique les images de la surface à étudier alternativement éclairée par l'une ou l'autre source de lumière. Deux images de la surface à étudier sont alors obtenues selon un même point de vue mais avec deux incidences d'éclairage différents de sorte que pour chaque point de la surface il y correspond deux éléments d'image dont la combinaison permet grâce à un algorithme 11 de calculer la pente du relief dudit point. Le relief est ensuite obtenu par une intégration sur tous les points de la surface des pentes en chacun desdits points.



BEST AVAILABLE COPY



## DISPOSITIF PHOTOGRAPHIQUE DE MESURE SANS CONTACT ET DE REPRESENTATION 3D DU MICRORELIEF CUTANE

5 La présente invention concerne un procédé et dispositif ayant pour but de mesurer le micro-relief cutané durant les différentes phases d'un traitement anti-rides. Le secteur technique de l'invention est le domaine, mais pas uniquement, de la réalisation de matériel d'évaluation des traitements anti-rides de l'industrie du cosmétique.

Le procédé et dispositif de la présente invention est utilisable dans toute application, où  
10 une détermination du micro-relief ou de l'état de rugosité d'une surface sont recherchés. Cependant, pour simplifier la présentation de l'art antérieur, on citera ci-après essentiellement les références aux applications de la cosmétologie.

Menée parallèlement aux tests pharmacologiques habituels, la mesure du micro-relief cutané durant les différentes phases d'un traitement anti-rides est à ce jour le seul moyen  
15 objectif de vérifier son efficacité clinique. L'industrie du cosmétique teste régulièrement ses produits en vraie grandeur, par la mesure 3D d'empreintes silicones moulées sur les sujets d'une population d'essai. L'étude comparative de ces résultats avec ceux obtenus sur une population de référence permet d'observer statistiquement l'efficacité du traitement appliqué.

20 A ce jour, les moyens de mesure performants mis à la disposition des chercheurs permettent d'analyser la profondeur des rides avec une résolution allant de 5 à 50 microns. En excluant les moyens mécaniques de la métrologie classique, les procédés optiques disponibles sont basés sur l'un des deux principes suivants :

25 • La triangulation : Le traitement géométrique des informations délivrées par deux capteurs croisés fournit les coordonnées 3D des points observés. Ce principe est typiquement celui de la photogrammétrie : néanmoins, l'absence de points repérables sur la peau conduit les constructeurs à utiliser un marquage optique mobile (fentes ou plan laser) dont le  
30 déplacement ralentit l'acquisition des mesures.

• La profondeur de champ : L'échantillon est observé point par point par un système microscopique. En chaque point, la valeur de déplacement de l'objectif autofocus est corrélée à la distance d'observation. Cette méthode

est extrêmement précise mais nécessite plusieurs minutes pour scanner l'ensemble de l'échantillon avec un pas suffisant pour l'étude.

Ces deux principes n'offrent pas la rapidité indispensable à l'acquisition instantanée des  
5 mesures : ils ne sont applicables qu'à des échantillons inertes. Le moulage cutané reste dans tous les cas obligatoire.

La suppression du moulage (et parfois même du contre moulage) permettrait de réduire le coût par sujet d'une campagne de test, et par voie de conséquence de tester une population plus vaste.

10

Une solution aux problèmes posés ci-dessus est un procédé de mesure du micro-relief cutané par un moyen autorisant une acquisition rapide et direct sur le sujet.

Selon le procédé faisant l'objet de l'invention, l'étude du micro-relief cutané est obtenue par une analyse particulière dont le principe est décrit ci-après, de deux images vidéo  
15 prises avec un seul appareil photo. Lesdites images représentent deux photographies de la surface à analyser ayant le même point de vue selon deux éclairages différents activés séquentiellement. Le tout s'effectuant en moins de 0,1 secondes. L'appareil photo utilisé est préférentiellement du type à capteur CCD afin d'obtenir des images numérisées. Les deux sources d'éclairage sont disposées selon deux angles de 30 degrés par exemple de  
20 part et d'autre d'un plan normal à la surface à étudier. Le schéma de principe du procédé selon l'invention est donné planche 1. Pour mieux faire comprendre l'intérêt du procédé selon l'invention, en ce qu'il permet de calculer et de mesurer rapidement un micro relief à l'aide d'un seul capteur, il est opportun de poser les bases théoriques qui ont servies à concevoir et réaliser le dispositif selon l'invention.

#### 25 **Méthode d'analyse**

On considère que la luminance d'une surface élémentaire est définie par une fonction liant l'angle d'incidence de l'éclairage, la position du capteur par rapport à la source et le pouvoir réflecteur de l'échantillon. Connaissant ces paramètres constants pour tout le cliché, il est possible de déterminer par son niveau de gris l'angle que fait une surface par  
30 rapport à la lumière incidente, prise comme direction de référence. La prise en compte de deux incidences nettement différentes à 60 degrés par exemple autorise l'analyse d'échantillons non homogènes sur le plan chromatique.

Les études menées notamment par les métallurgistes sur la rugosité d'une surface éclairée selon une incidence connue par traitement d'image ont montré que niveau de gris

en un point dépend non pas de la hauteur mais de la pente du profil en ce point. La pente des rugosités est donc une fonction affine de la microtopographie de la surface analysée. Cette détermination reste valable tant que le capteur photo et la source de lumière sont suffisamment éloignés par rapport à la hauteur des profils.

5 On considère donc que la luminance d'une surface élémentaire est définie par une fonction liant l'angle d'incidence de l'éclairage et la position du capteur par rapport à la source. Connaissant ces paramètres constants pour tout le cliché, il est possible de déterminer par son niveau de gris l'angle que fait une surface par rapport à la lumière incidente, prise comme direction de référence.

10 Ce traitement délivre pour tout élément d'image la pente locale de l'élément de surface correspondant. L'intégration des pentes données par les éléments d'image voisins permet, par propagation depuis une référence altimétrique, de déterminer la profondeur en chaque point de l'image.

Afin de trouver une relation liant l'angle d'incidence de l'éclairage et la position  
15 du capteur, nous nous sommes penchés sur le modèle de Phong dont on trouvera une description détaillée dans l'ouvrage : La synthèse d'images, par Bernard Peroche, Jackeline Argence, Djamchid Ghazanfarpour et Dominique Michelucci, aux éditions Hermes.

L'éclairement ou l'illumination décrit l'intensité de la lumière réfléchiée par un élément  
20 d'image sur la surface de l'objet et vue par l'utilisateur. Le « modèle d'illumination de Phong » a été développé par Bui-Tuong-Phong. Il est illustré figure 1.

Nous considérons que la source lumineuse est un point. La surface de l'objet est éclairée par la lumière directe en provenance de la source qui se réfléchit suivant le vecteur R qui  
25 fait un angle  $\theta$  avec la normale N à la surface. En même temps, l'objet est éclairé par la lumière ambiante qui sera partiellement réfléchiée vers l'observateur. La position de ce dernier par rapport à la surface de l'objet est repérée par le vecteur V. L'intensité I de la lumière de longueur d'onde  $\lambda$  perçue par l'observateur est donnée par l'équation 1 :

Equation 1 :

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} K_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} [K_d O_{d\lambda} \cos\theta + K_s O_{s\lambda} \cos^n\alpha]$$

30

avec  $I_{a\lambda}$  : intensité de la lumière ambiante

$I_{p\lambda}$  : intensité de la source de lumière ponctuelle de longueur d'onde  $\lambda$

$K_a$  : coefficient de réflexion de la lumière ambiante par la surface

$K_d$  : coefficient de réflexion pour la diffusion

$K_s$  : coefficient de réflexion spéculaire

$O_{d\lambda}$  : couleur de diffusion de l'objet

$O_{s\lambda}$  : couleur spéculaire

5  $f_{att}$  : facteur d'atténuation de l'atmosphère.

Cette équation convient parfaitement pour nos applications pratiques, car elle fait intervenir les coefficients souhaités. Expérimentalement, nous travaillerons dans des conditions différentes et de ce fait l'équation sera simplifiée par la suppression de  
10 certains coefficients :

- toutes les applications seront accomplies dans une pièce isolée de toute lumière extérieure (aucune lumière ambiante donc  $I_{a\lambda} K_a O_d = 0$ )
- 15 - le facteur d'atténuation de l'atmosphère sera égal à 1 car nous travaillerons sur de courtes distances
- nous ne prendrons pas en compte la couleur de diffusion et la couleur spéculaire car notre surface sera blanche et celle-ci sera éclairée par de la lumière blanche.

20 D'autre part, la réflexion spéculaire modélise la lumière réfléchiée par une surface brillante comme un miroir ou une carrosserie de voiture. Dans ce cas il y a une zone près de la normale  $N$  où la couleur de l'objet apparaît « blanche ». La lumière réfléchiée est spécialement intense quand l'angle  $\alpha$  délimité par  $R$  et  $V$  est petit. La composante de la lumière réfléchiée chute rapidement quand  $\alpha$  croît. Dans le modèle de Phong, on utilise  
25 pour représenter cela une fonction  $\cos^n \alpha$ . Plus il est grand, plus  $\cos^n \alpha$  décroît rapidement et la réflexion spéculaire atteint vite zéro.

Les surfaces que nous étudierons seront mates afin que ses caractéristiques se rapprochent le plus de celles de la peau. Dans ces conditions  $n$  vaudra le plus petit entier possible à savoir  $n=1$ .

30 Après les modifications apportées, nous obtenons une forme plus simplifiée de l'équation précédente :

Equation 2 :

$$I_{\lambda} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta + K_s \cos \alpha)$$

La fonction ci-dessus sera appliquée pour l'intensité lumineuse provenant de l'éclairage gauche et pour l'intensité lumineuse provenant de l'éclairage droit. Nous remarquons que cette fonction n'est pas bijective sur un intervalle défini. C'est pourquoi nous ferons la  
 5 différence des deux intensités afin d'obtenir une fonction bijective c'est-à-dire qui soit strictement monotone sur un intervalle défini. Grâce à l'intensité lumineuse, nous pourrions déterminer l'angle d'incidence. Nous nous fixerons comme différence  $I_{\lambda G} - I_{\lambda D}$ .

### Schémas principaux du montage

10

Dans notre cas, nous pouvons constater que l'appareil de prises de vue joue le rôle de l'observateur. Le premier schéma figure 2 symbolise l'expérience lorsque l'éclairage droit est allumé .

15 La formule de Phong fait intervenir deux angles  $\theta$  et  $\alpha$ .  $\theta$  est l'angle que forme le rayon incident avec la normale à la surface et  $\alpha$  est l'angle que forme l'observateur (position de l'appareil de prise de vue) avec le rayon réfléchi. Ces deux angles ne pourront pas être connus, c'est pourquoi nous faisons intervenir deux autres angles  $\varphi$  et  $\beta$ .  $\varphi$  est l'angle que forme le rayon incident avec l'observateur et  $\beta$  est l'angle que forme la surface avec l'axe  
 20 des abscisses. C'est l'angle d'inclinaison de la surface. L'angle  $\varphi$  restera constant tout au long des expériences.

### Détermination de l'équation de Phong avec les paramètres $\beta$ et $\varphi$

25 Reprenons l'équation 2 pour l'éclairage gauche :

$$I_{\lambda G} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta_1 + K_s \cos \alpha_1)$$

On pose  $\theta_1 = \varphi + \beta$

On pose  $\alpha_1 = \theta_1 + \beta$  donc  $\alpha_1 = \varphi + 2\beta$

30

On remplace ensuite les termes ci-dessus dans l'équation et on obtient :

$$I_{\lambda G} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi + \beta) + K_s \cos(\varphi + 2\beta)]$$

Reprenons l'équation 2 pour l'éclairage droit :

$$I_{\lambda D} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta_2 + K_s \cos \alpha_2)$$

On pose  $\theta_2 = \varphi + \beta$

5 On pose  $\alpha_2 = \beta - \theta_2$  donc  $\alpha_2 = 2\beta - \varphi$

On remplace ensuite les termes ci-dessus dans l'équation et on obtient :

$$I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi - \beta) + K_s \cos(2\beta - \varphi)]$$

10 Nous procédons alors à la différence des deux intensités :

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi + \beta) + K_s \cos(\varphi + 2\beta)] - I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi - \beta) + K_s \cos(2\beta - \varphi)]$$

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta)) + K_s (\cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi))]$$

15 D'une part nous avons :

$$\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta) = \cos(\varphi)\cos(\beta) - \sin(\varphi)\sin\beta - \cos(\varphi)\cos(\beta) - \sin(\varphi)\sin(\beta)$$

$$\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta) = -2 \sin(\varphi)\sin(\beta)$$

20

D'autre part nous avons :

$$\cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi) = \cos(\varphi)\cos(2\beta) - \sin(\varphi)\sin(2\beta) - \cos(2\beta)\cos(\varphi) - \sin(2\beta)\sin(\varphi)$$

25 
$$\cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi) = -2 \sin(\varphi)\sin(2\beta)$$

Finalement, nous parvenons à la formule finale donnée par l'équation 3 suivant :

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta)) - K_s (\cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi))]$$

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (-2\sin(\varphi)\sin(\beta)) + K_s (-2\sin(\varphi)\sin(2\beta))]$$

30

**Equation 3 :** 
$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = -2I_{p\lambda} [K_d \sin(\varphi)\sin(\beta) - K_s \sin(\varphi)\sin(2\beta)]$$

La relation 3 qui exprime la différence de luminances « gauche » et « droite » en fonction de  $\beta$  ( $\phi$ ,  $K_d$ ,  $K_s$  étant constants) nous permet donc de connaître la pente en tout point ou élément d'image de la surface et donc par intégration de restituer le profil à un coefficient multiplicatif et additif près. Lesdits coefficients sont à déterminer par des mesures d'étalonnage.

Dans un des modes de réalisation du dispositif selon l'invention schématisé figure 4, on peut préférentiellement regrouper dans un châssis 1, le capteur photo 2 qui peut être amovible et les deux sources de lumière 3 et 4 qui seront fixes. Les lentilles convergentes 6 et 7 sont disposées sur le trajet des flux lumineux et dirigent lesdits flux de façon à les faire converger sur la surface 8 à étudier et représentée ici en coupe. La lumière réfléchie, et captée par l'appareil 2, est focalisée par la lentille 5. Les axes optiques des lentilles 5 6 7 qui s'inscrivent dans un plan, convergent donc sur la surface 8 et forment entre eux un angle constant  $\phi$ . La mise en œuvre du procédé selon l'invention requière un ordinateur 10 de type PC par exemple. Ledit PC commande les séquences d'allumage de 3 et 4, de déclenchement du capteur 2 et d'acquisition des images numérisées via les interfaces 9 et 12 selon les diagrammes de la figure 5. L'interface électronique 9 comporte les dispositifs (commutateurs) bien connus des électroniciens connectés aux bornes A, B et C qui permettent de fermer respectivement les circuits d'alimentation ou de mise en œuvre de 2, 3 et 4. L'interface électronique 12 est un convertisseur permettant une numérisation des signaux d'image issues du capteur 2. Dans une procédure de mesure du relief cutané par exemple, la séquence d'acquisition se déroule selon le chronogramme figure 5 : A est conducteur (source 3 est allumée), après un bref délai  $\tau$ , C est conducteur (prise de la première photo), A est coupé et B est conducteur, après un bref délai  $\tau$ , C est conducteur (prise de la deuxième photo). Le temps d'acquisition n'excède pas au total 0,1 secondes. Le contrôle et le traitement du processus est assuré par le logiciel « TOPOSKIN » 11 spécialement conçu.



FR01 02364

## Revendications

1. Dispositif de mesure de la rugosité d'une surface (8), comportant des moyens (3, 4) d'éclairage <7/8> de la surface (8) et des moyens capteurs (2) <7/7, 11> de  
5 détection d'une image en lumière réfléchie <7/11> par la surface (8), caractérisé par le fait que les moyens d'éclairage (3, 4) sont agencés pour éclairer la surface (8) selon deux directions déterminées <5/2,3> et de façon alternée <7/22-24> sous la commande de moyens séquenceurs  
10 d'activation (9) <7/22-24>, et il est prévu des moyens de calcul (10, 11) <7/14>, reliés aux moyens capteurs (2), pour déterminer, pour une pluralité de points d'image <7/3>, la différence <6/10> entre deux intensités de lumière réfléchie du point d'image considéré éclairé selon  
15 les deux directions respectives, pour en déterminer une valeur représentative d'un angle de pente locale relative par rapport à une direction prédéterminée et pour déterminer la rugosité par composition des valeurs représentatives des pentes de points voisins <7/2>.

20 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens séquenceurs (9) sont commandés par les moyens de calcul (10, 11).

3. Dispositif selon l'une de revendications 1 et 2, comprenant un boîtier de protection contre la lumière  
25 parasite, comportant une fenêtre d'appui pour la surface (8).

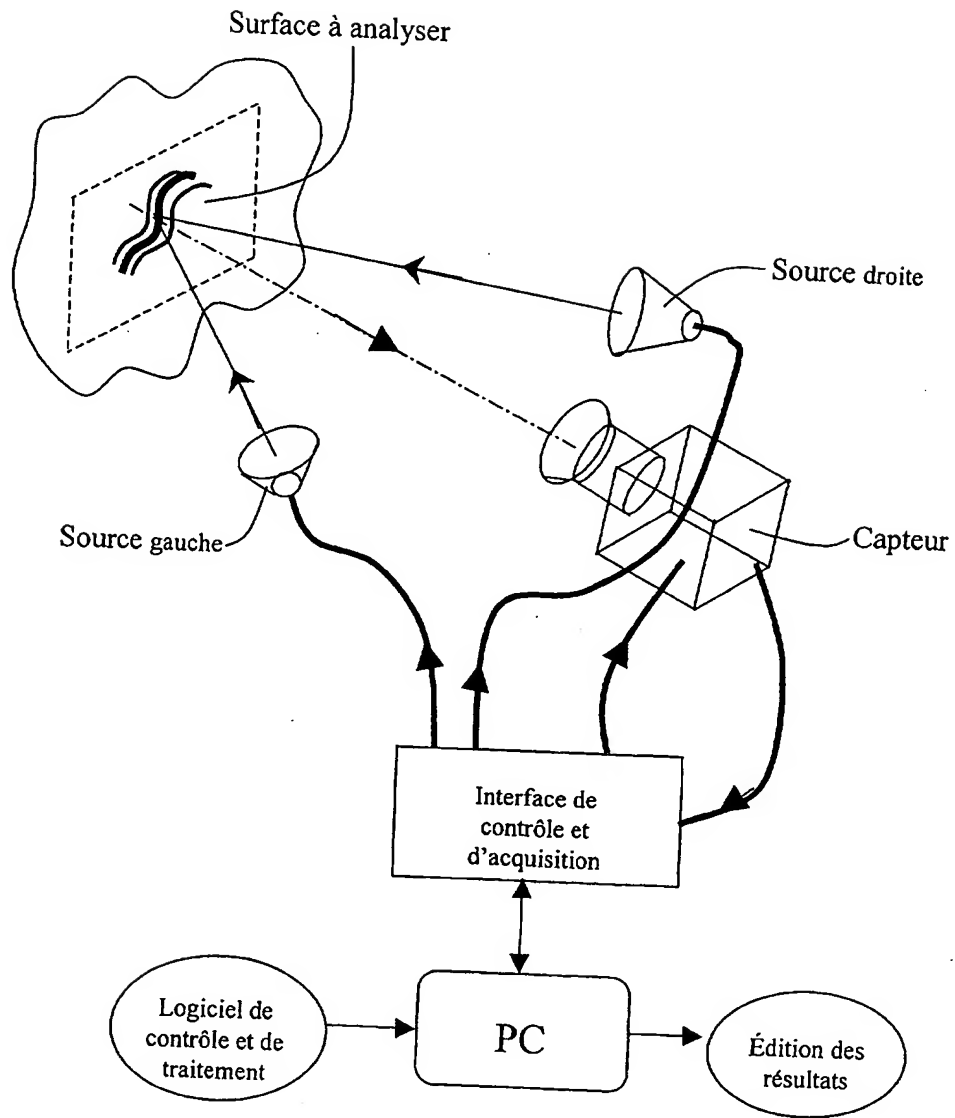
4. Procédé de mesure de la rugosité d'une surface (8), dans lequel on illumine la surface (8) par une source lumineuse et on en détecte une image par un capteur de  
30 lumière réfléchie, caractérisé par le fait qu'on éclaire la surface (8) selon deux directions déterminées et de façon alternée, l'image détectée est fournie à des moyens de

calcul (10, 11) qui déterminent, pour chacun d'une pluralité de points d'image, une différence entre deux intensités de lumière réfléchie du point d'image considéré éclairé selon les deux directions respectives, qui en déterminent une valeur représentative une valeur représentative d'un angle de pente locale relative par rapport à une direction prédéterminée et qui déterminent la rugosité par composition des valeurs représentatives des pentes de points voisins.

- 10        5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel on effectue un étalonnage préalable <7/5> des moyens de calcul (10, 11) pour que la valeur représentative fournisse la valeur absolue de pente.

15

1/3



2/3

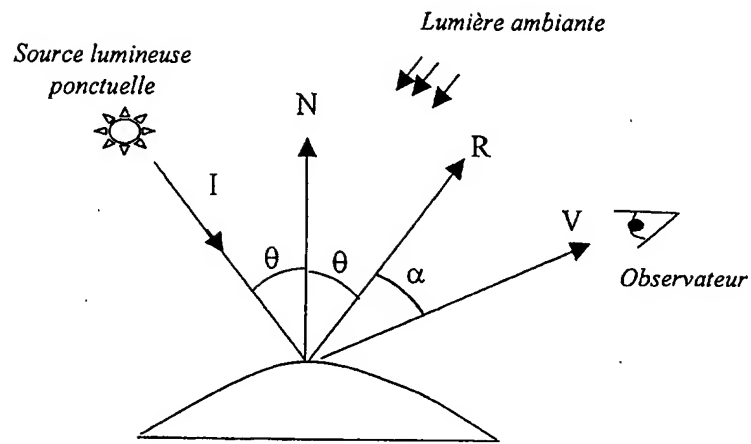


FIG. 1

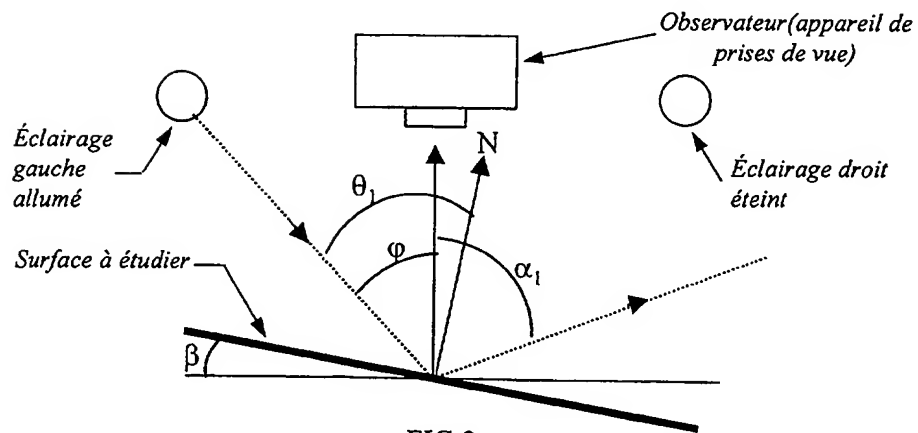


FIG. 2

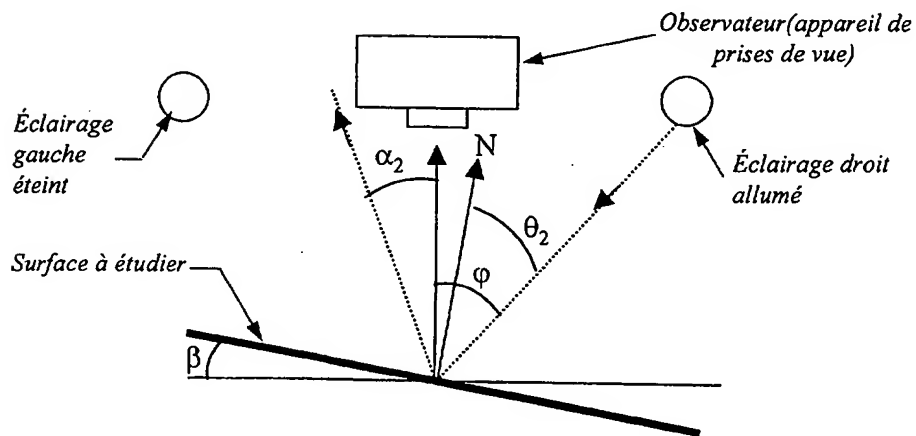
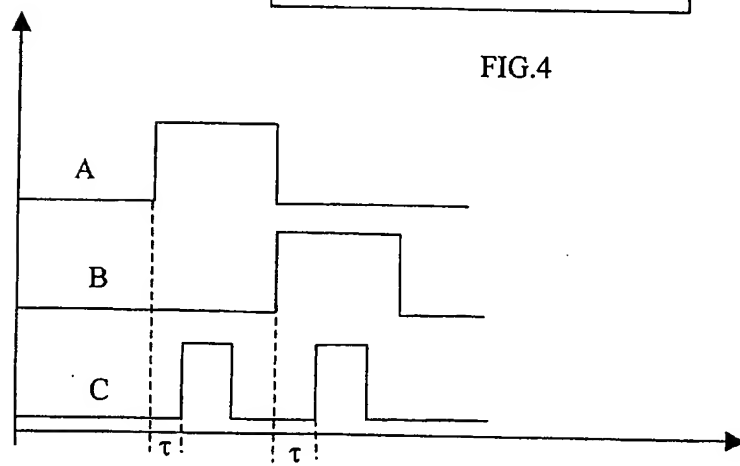
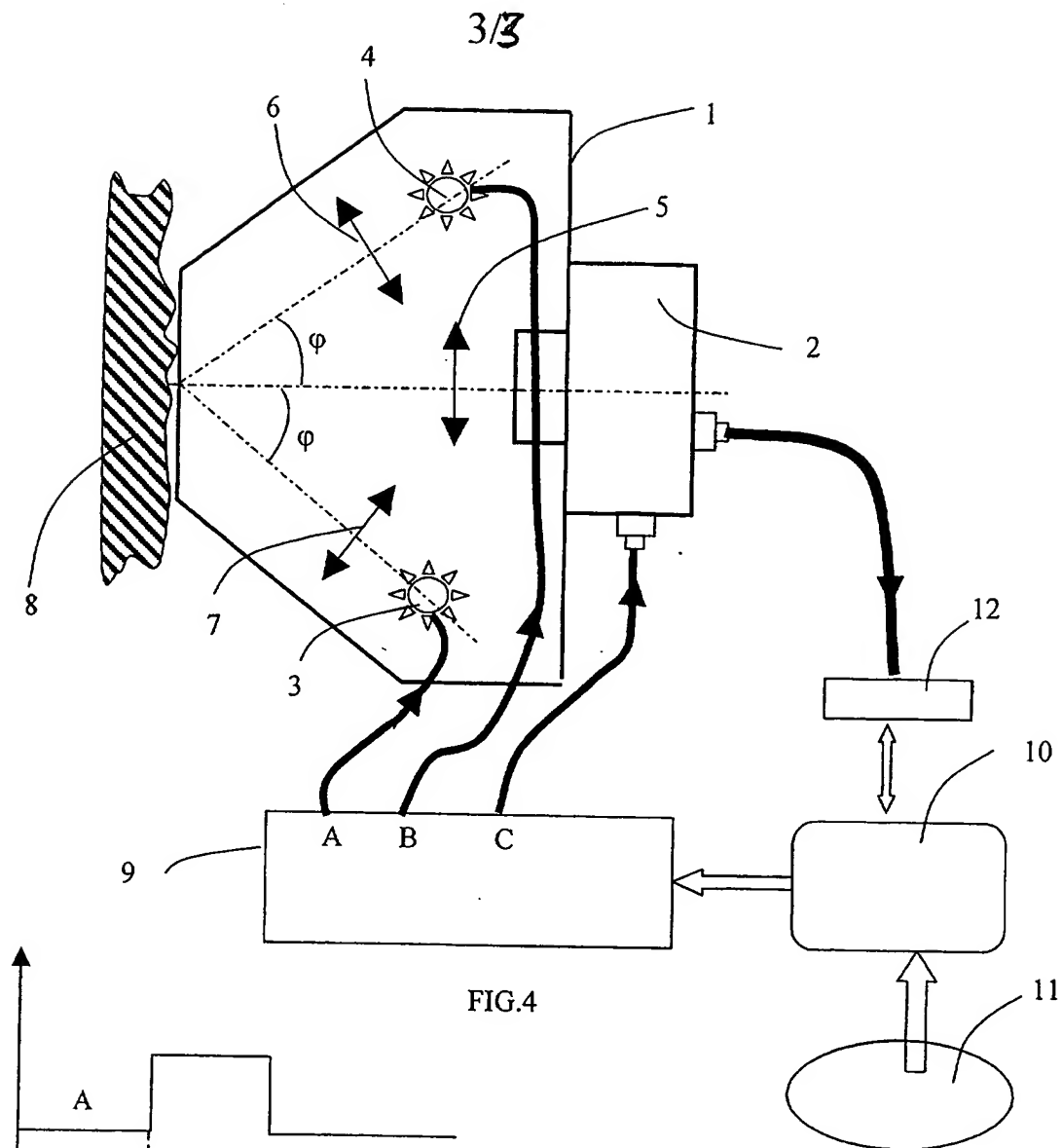


FIG. 3



(19) FRENCH REPUBLIC

(11) Publication No.:

2 821 152

NATIONAL PATENT INSTITUTE

(21) Natl Registration No.:

01 02364

PARIS

(51) Int. Cl. G 01 B 11/30, A 61 B 5/103

(12)

## PATENT APPLICATION

A1

(22) Date filed: 02/22/2001

(30) Priority:

(43) Date of publication of application: 08/23/2002  
Bulletin 02/34

(56) List of documents cited in Preliminary Search  
Report: *The latter was not established at the date  
of publication of the application.*

(60) References to other related national documents:

(71) Applicant(s): ADHOUTE HERTSEL- FR

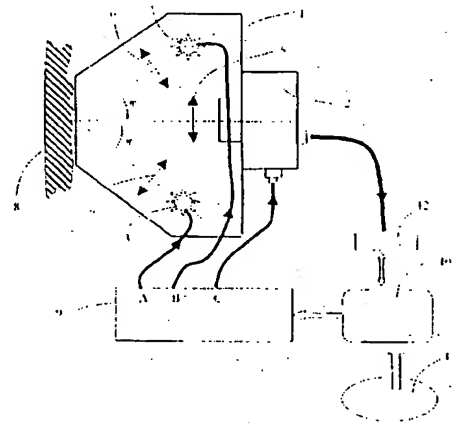
(72) Inventor(s): ADHOUTE HERTSEL

(73) Proprietor(s):

(74) Representative(s): CABINET LEPEUDRY

### (54) PHOTOGRAPHIC DEVICE FOR NON-CONTACT MEASUREMENT AND 3-D REPRESENTATION OF THE CUTANEOUS MICRO RELIEF

(57) Procedure and device permitting the performance of a measurement of the roughness or micro relief of a surface 8, in particular of the skin of a living subject, characterized by the fact that it includes, in combination, two light sources 3 and 4 suitably arranged on either side of the median plane of the surface to be studied and each emitting a beam directed towards the said surface, a photo sensor 2 arranged between the two light sources and intended to capture, preferably in digital form, the images of the surface to be studied illuminated alternately by one or the other source of light. Two images of the surface to be studied are thus obtained from the same viewpoint but with two different incidences of illumination so that for each point on the surface there correspond two image elements the combination of which, using an algorithm 11, permits the calculation of the slope of the relief of the said point. The relief is then obtained by integration over all the points of the surface of the slopes at each of the said points.



## **PHOTOGRAPHIC DEVICE FOR NON-CONTACT MEASUREMENT AND 3-D REPRESENTATION OF THE CUTANEOUS MICRO RELIEF**

The present invention relates to a procedure and device having the purpose of measuring the cutaneous micro relief during the different phases of an anti-wrinkle treatment. The technical sector of the invention is the domain, but not solely, of the implementation of equipment for the evaluation of the anti-wrinkle treatments of the cosmetic industry.

The procedure and device of the present invention can be used in any application where a determination of the micro-relief or of the state of roughness of a surface are sought. However, to simplify the presentation of the prior art, mainly the references to applications in cosmetology will be cited below.

Carried out in parallel to the usual pharmacological tests, the measurement of the cutaneous micro relief during the various phases of an anti-wrinkle treatment is at present the only objective means of verifying its clinical efficacy. The cosmetic industry regularly tests its products on the natural scale by 3-D measurement of silicone impressions molded on the subjects of a test population. The comparative study of these results with those obtained on a reference population permits the statistical observation of the efficacy of the treatment applied.

At present, the high performance means of measurement at the disposal of researchers permit the analysis of the depth of the wrinkles with a resolution of from 5 to 50 microns. Excluding the mechanical means of standard metrology, the available optical methods are based on one of the following two principles:

- **Triangulation:** The geometric treatment of information delivered by two crossed sensors provides the 3-D coordinates of the points observed. This principle is typically that of photogrammetry: nevertheless, the absence of points that can be marked on the skin leads the constructors to use mobile optical marking (slits or laser plane) the displacement of which slows down the acquisition of the measurements.
- **Depth of field:** The sample is observed point by point by means of a microscope system. At each point, the displacement of the autofocus lens is correlated to the observation distance. This method is extremely precise but requires several minutes to scan the entire sample with a pitch sufficient for the study.

These two principles do not offer the speed indispensable to the instant acquisition of the measurements, and they are only applicable to inert samples. Cutaneous molding remains mandatory in all cases.

The elimination of molding (and sometimes of the countermolding) would allow reduction of the cost per subject of a test campaign, and consequently the testing of a broader population.

A solution to the problems posed above is a procedure for the measurement of the cutaneous micro-relief by a means permitting rapid and direct acquisition on the subject.

According to the process that is the subject of the invention, the study of the cutaneous micro-relief is obtained by a specific analysis of which the principle is described below, of two video images taken with a single photographic apparatus. The said images represent two photographs of the surface to be analyzed having the same point of view with two different illuminations activated sequentially, the whole process being effectuated in less than 0.1 seconds. The photo apparatus used is preferably of the CCD sensor type so as to obtain digitized images. The two sources of lighting are arranged according to two angles of 30 degrees for example on either side of a plane perpendicular to the surface to be studied. The skeleton diagram of the process in accordance with the invention is given in plate 1. To make the importance of the process in accordance with the invention better understood, in that it permits the calculation and rapid measurement of a micro relief using a single sensor, it is appropriate to state the theoretical bases that were used to conceive and implement the device in accordance with the invention.

### **Analytical Method**

It is considered that the luminance of a surface element is defined by a function linking the angle of incidence of the illumination, the position of the sensor relative to the source, and the reflective power of the sample. Knowing these parameters, constant for the whole photograph, it is possible to determine by its gray level the angle made by a surface relative to the incident light, taken as the reference direction. The consideration of two incidences, clearly different by 60 degrees for example, permits the analysis of samples that are not homogeneous on the chromatic level.

The studies carried out, particularly by metallurgists, on the roughness of a surface illuminated in accordance with a known incidence by image treatment have shown that the gray level at a point does not depend on the height but on the slope of the profile at this point. The slope of the roughnesses is thus an affine function of



the microtopography of the surface analyzed. This determination remains valid as long as the photo sensor and the light source are sufficiently distant relative to the height of the profiles.

It is thus considered that the luminance of a surface element is defined by a function linking the angle of incidence of the illumination and the position of the sensor in relation to the source. Knowing these parameters, constant for the entire photograph, it is possible to determine by its gray level the angle made by a surface relative to the incident light, taken as the reference direction.

This treatment delivers for every image element the local slope of the corresponding surface element. The integration of the slopes given by the adjacent image elements permits, by propagation from an altimetric reference, the determination of the depth at each point of the image.

In order to find a relation linking the angle of incidence of illumination and the position of the sensor, we relied on the Phong model of which a detailed description will be found in the work: Image Synthesis, by Bernard Peroche, Jackeline Argence, Djamchid Ghazanfarpour and Dominique Michelucci, published by Hermes.

The lighting or illumination describes the intensity of the light reflected by an image element on the surface of the object and seen by the user. The "Phong illumination model" was developed by Bui-Tuong-Phong; it is illustrated in Figure 1.

We consider that the light source is a point. The surface of the object is illuminated by direct light coming from the source which is reflected in accordance with the vector R which makes an angle  $\theta$  with the normal N to the surface. At the same time, the object is illuminated by the ambient light which will be partly reflected towards the observer. The position of the latter relative to the surface of the object is localized by the vector V. The intensity I of the light of wavelength  $\lambda$  perceived by the observer is given by equation 1:

Equation 1:

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} K_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} [K_d O_{d\lambda} \cos \theta + K_s O_{a\lambda} \cos^n a]$$

with  $I_{a\lambda}$  = intensity of the ambient light

$I_{p\lambda}$  = intensity of the point source of light of wavelength  $\lambda$

$K_a$  = coefficient of reflection of the ambient light by the surface

$K_d$  = coefficient of reflection for the diffusion

$K_s$  = coefficient of specular reflection

$O_{d\lambda}$  = diffusion color of the object

$O_{s\lambda}$  = specular color

$f_{att}$  = atmospheric attenuation factor

This equation is perfectly suited to our practical applications since it involves the desired coefficients. Experimentally, we will work under different conditions and because of this the equation will be simplified by the elimination of certain coefficients:

- all the applications will be accomplished in a room isolated from all exterior light (no ambient light, therefore  $I_{a\lambda}$ ,  $K_a$ ,  $O_d = 0$ )
- the atmospheric attenuation factor will be equal to 1 because we will be working over short distances
- we will not take into account the diffusion color and the specular color because our surface will be white and it will be illuminated by white light.

On the other hand, the specular reflection models the light reflected by a bright surface such as a mirror or an automobile body. In this case, there is a zone close to the normal  $N$  where the color of the object appears "white." The reflected light is especially intense when the angle  $\alpha$  delimited by  $R$  and  $V$  is small. The reflected light component drops rapidly when  $\alpha$  increases. In the Phong model, a function  $\cos^n \alpha$  is used to represent this. The larger it is, the more  $\cos^n \alpha$  decreases rapidly and the specular reflection quickly reaches zero.

The surfaces that we will study will be matte, so that its characteristics resemble those of the skin. Under these conditions,  $n$  is the smallest possible whole number, that is,  $n=1$ .

After the modifications introduced, we obtain a more simplified form of the above equation:

Equation 2:

$$I_{\lambda} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta + K_s \cos \alpha)$$

The above function will be applied for the luminous intensity coming from the left-hand illumination and for the luminous intensity coming from the right-hand illumination. We note that this function is not bijective over a defined interval. This is why we make the difference in the two intensities so as to obtain a bijective function,

that is, one that is strictly monotone over a defined interval. By means of the luminous intensity, we will be able to determine the angle of incidence. We will fix [it] as the difference  $I_{\lambda G} - I_{\lambda D}$ .

### Principal set-up diagrams

In our case, we can observe that the camera apparatus acts as the observer. The first diagram, Fig. 2, represents the experiment when the right-hand illumination is lit.

The Phong formula brings in two angles  $\theta$  and  $\alpha$ .  $\theta$  is the angle formed by the incident ray with the normal to the surface and  $\alpha$  is the angle formed by the observer (camera position) with the reflected ray. These two angles cannot be known, which is why we involve two other angles  $\phi$  and  $\beta$ .  $\phi$  is the angle formed by the incident ray with the observer and  $\beta$  is the angle formed by the surface with the axis of the abscissa. This is the angle of inclination of the surface. The angle  $\phi$  will remain constant throughout the experiments.

### Determination of the Phong equation with parameters $\beta$ and $\phi$

Taking equation 2, for the left-hand illumination:

$$I_{\lambda G} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta_1 + K_s \cos \alpha_1)$$

$$\text{Putting } \theta_1 = \phi + \beta$$

$$\text{Putting } \alpha_1 = \theta_1 + \beta, \text{ thus } \alpha_1 = \phi + 2\beta$$

The above terms are then replaced in the equation to give:

$$I_{\lambda G} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\phi + \beta) + K_s \cos(\phi + 2\beta)]$$

Taking equation 2, for the right-hand illumination:

$$I_{\lambda D} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta_2 + K_s \cos \alpha_2)$$

Putting  $\theta_2 = \phi + \beta$

Putting  $\alpha_2 = \beta - \theta_2$ , thus  $\alpha_2 = 2\beta - \phi$  [sic]

The above terms are then replaced in the equation to give:

$$I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\phi - \beta) - K_s \cos(2\beta - \phi)]$$

Then, proceeding to the difference between the two intensities:

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\phi + \beta) + K_s \cos(\phi + 2\beta)] - I_{p\lambda} [K_d \cos(\phi - \beta) + K_s \cos(2\beta - \phi)]$$

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\phi + \beta) - \cos(\phi - \beta)) + K_s (\cos(\phi + 2\beta) - \cos(2\beta - \phi))]$$

On one hand we have:

$$\cos(\phi + \beta) - \cos(\phi - \beta) = \cos(\phi)\cos(\beta) - \sin(\phi)\sin(\beta) - \sin(\phi)\sin\beta - \cos(\phi)\cos(\beta) - \sin(\phi)\sin(\beta)$$

$$\cos(\phi + \beta) - \cos(\phi - \beta) = -2 \sin(\phi)\sin(\beta)$$

On the other hand we have:

$$\cos(\phi + 2\beta) - \cos(2\beta - \phi) = \cos(\phi)\cos(2\beta) - \sin(\phi)\sin(2\beta) - \cos(2\beta)\cos(\phi) - \sin(2\beta)\sin(\phi)$$

$$\cos(\phi + 2\beta) - \cos(2\beta - \phi) = -2 \sin(\phi)\sin(2\beta)$$

Finally, we arrive at the final formula given by equation 3, following:

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (\cos(\phi + \beta) - \cos(\phi - \beta)) - K_s (\cos(\phi + 2\beta) - \cos(2\beta - \phi))]$$

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (-2\sin(\phi)\sin(\beta)) + K_s (-2\sin(\phi)\sin(2\beta))]$$

Equation 3:

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = 2I_{p\lambda} [K_d \sin(\phi)\sin(\beta) - K_s \sin(\phi)\sin(2\beta)]$$

Equation 3, which expresses the difference between “left-hand” and “right-hand” luminances as a function of  $\beta$  ( $\phi$ ,  $K_d$   $K_s$  being constants) thus permits us to know the slope at every point or image element of the surface and thus by integration to plot the profile except for a multiplicative and additive coefficient. The said coefficients are to be determined by calibration measurements.

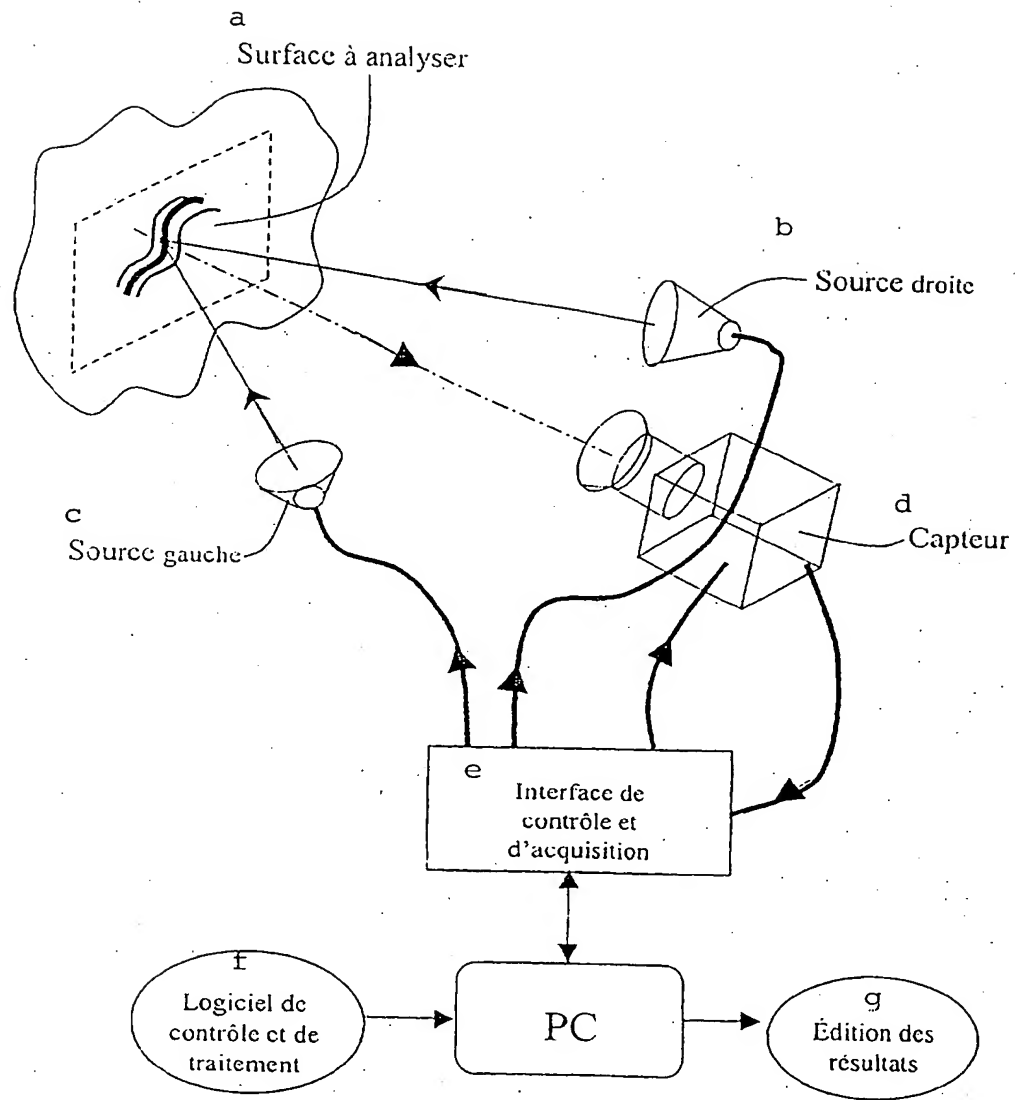
In one of the methods of implementation of the device in accordance with the invention, shown in a diagram in Fig. 4, in a housing 1 can preferably be grouped the photo sensor 2 which can be movable and the two light sources 3 and 4 which will be fixed. The convergent lenses 6 and 7 are arranged on the trajectory of the luminous fluxes and direct the said fluxes so that they converge on the surface 8 to be studied, and represented here in section. The reflected light, captured by the apparatus 2, is focused by the lens 5. The optical axes of the lenses 5, 6, 7 which are drawn in one plane thus converge on the surface 8 and form between them a constant angle  $\phi$ . The implementation of the process in accordance with the invention requires a computer 10, for example of the PC type. The said PC controls the sequences of lighting of 3 and 4, of triggering of the sensor 2 and of acquisition of the digital images via the interfaces 9 and 12 as in the diagrams in Fig. 5. The electronic interface 9 includes devices (commutators) well known to electronics engineers, connected to the terminals A, B and C, which permit the closing, respectively, of the circuits for the supply or actuation of 2, 3 and 4. The electronic interface 12 is a converter permitting digitalization of the image signals coming from the sensor 2. In a procedure for measuring the cutaneous relief, for example, the acquisition sequence unwinds as in the chronogram in Figure 5: A is conductive (source 3 is lit), after a brief delay  $\tau$ , C is conductive (first photograph is taken), A is shut off and B is conductive, after a short delay  $\tau$ , C is conductive (2<sup>nd</sup> photograph is taken). The acquisition time does not exceed 0.1 seconds all together. The control and treatment of the process is assured by the specially designed “TOPOSKIN” software 11.

FR01 02364

## Claims

1. Device for measuring the roughness of a surface (8), including means (3,4) for illumination <7/8> of the surface (8), and sensor means (2) <7/7, 11> for the detection of an image in light reflected <7/11> by the surface (8), characterized by the fact that the means of illumination (3, 4) are actuated to illuminate the surface (8) in two defined directions <5/2,3> alternately <7/22-24> under the control of activation sequencing means (9) <7/22-24>, and means of calculation (10,11) <7/14> are provided, linked to the sensor means (2), to determine for a plurality of image points <7/3> the difference <6/10> between two intensities of light reflected from the image point considered to be illuminated in the two respective directions, for determining a representative value of a relative local angle of slope in relation to a predetermined direction and to determine the roughness by composition of the representative values of the slopes of adjacent points <7/2>.
2. Device in accordance with claim 1, in which the sequencing means are controlled by the means of calculation (10, 11).
3. Device in accordance with one of the claims 1 and 2, including a case to protect against stray light, including a support window for the surface (8).
4. Process for the measurement of the roughness of a surface (8), in which the surface (8) is illuminated by a luminous source and an image is detected by means of a reflected light sensor, characterized by the fact that the surface (8) is illuminated in two defined directions alternately, the image detected is supplied to calculating means (10, 11) which determine, for each of a plurality of image points, a difference between two intensities of light reflected from the image point considered illuminated in the two respective directions, which determine from this a representative value of a relative local angle of slope in relation to a predetermined direction and which determines the roughness by composition of the representative values of the slopes of adjacent points.
5. Process in accordance with claim 4, in which a preliminary standardization <7/5> of the means of calculation (10, 11) is effectuated so that the representative value provides the absolute value of the slope.

1/3



Key to Diagram above:

a = Surface to be analyzed

b = Right-hand source

c = Left-hand source

d = Sensor

e = Control and acquisition interface

f = Control and treatment software

g = Formatting of results

2/3

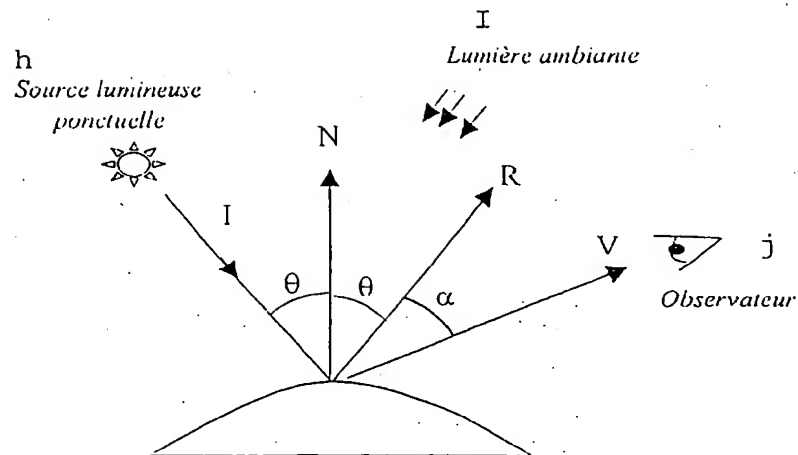


FIG. 1

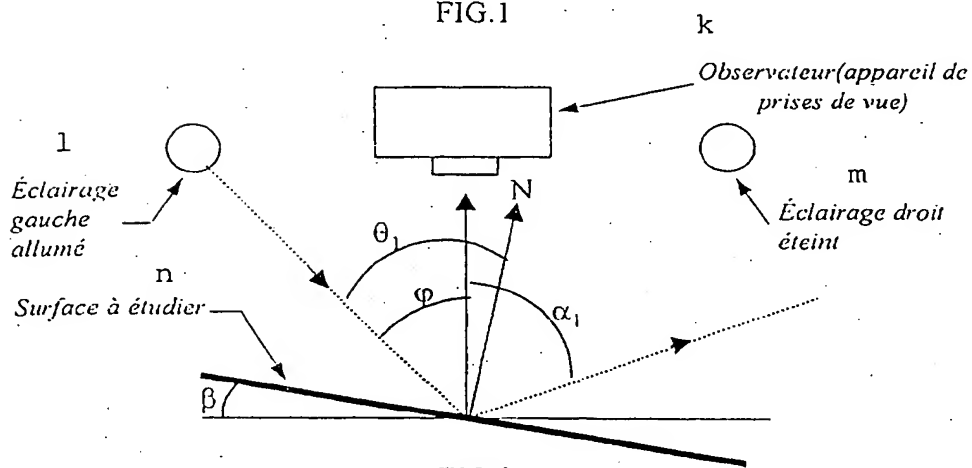


FIG. 2

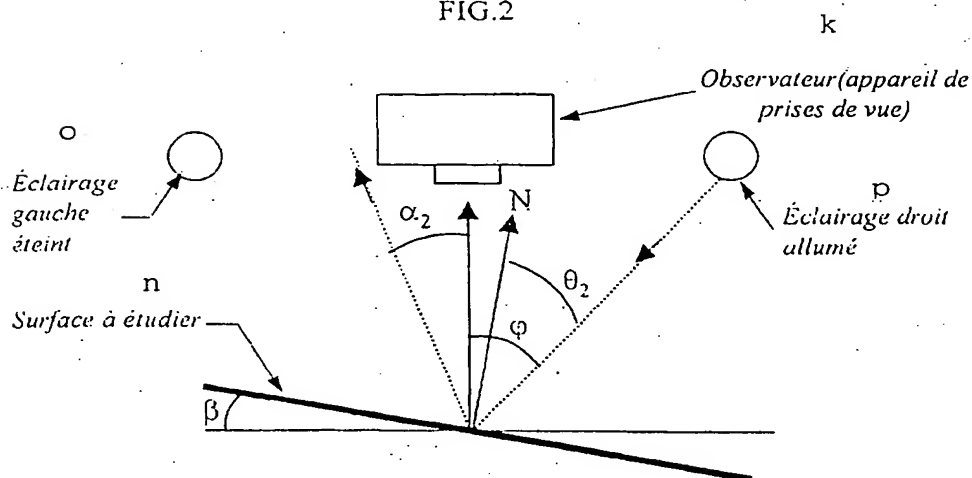


Fig. 3

Key to Diagram 1

h = Point light source  
I = Ambient light  
j = Observer

Key to Diagram 2

k = Observer (camera apparatus)  
l = Left-hand illumination, lit  
m = Right-hand illumination, not lit

Key to Diagram 3

n = Surface to be studied  
o = Left-hand illumination, not lit  
p = Right-hand illumination, lit



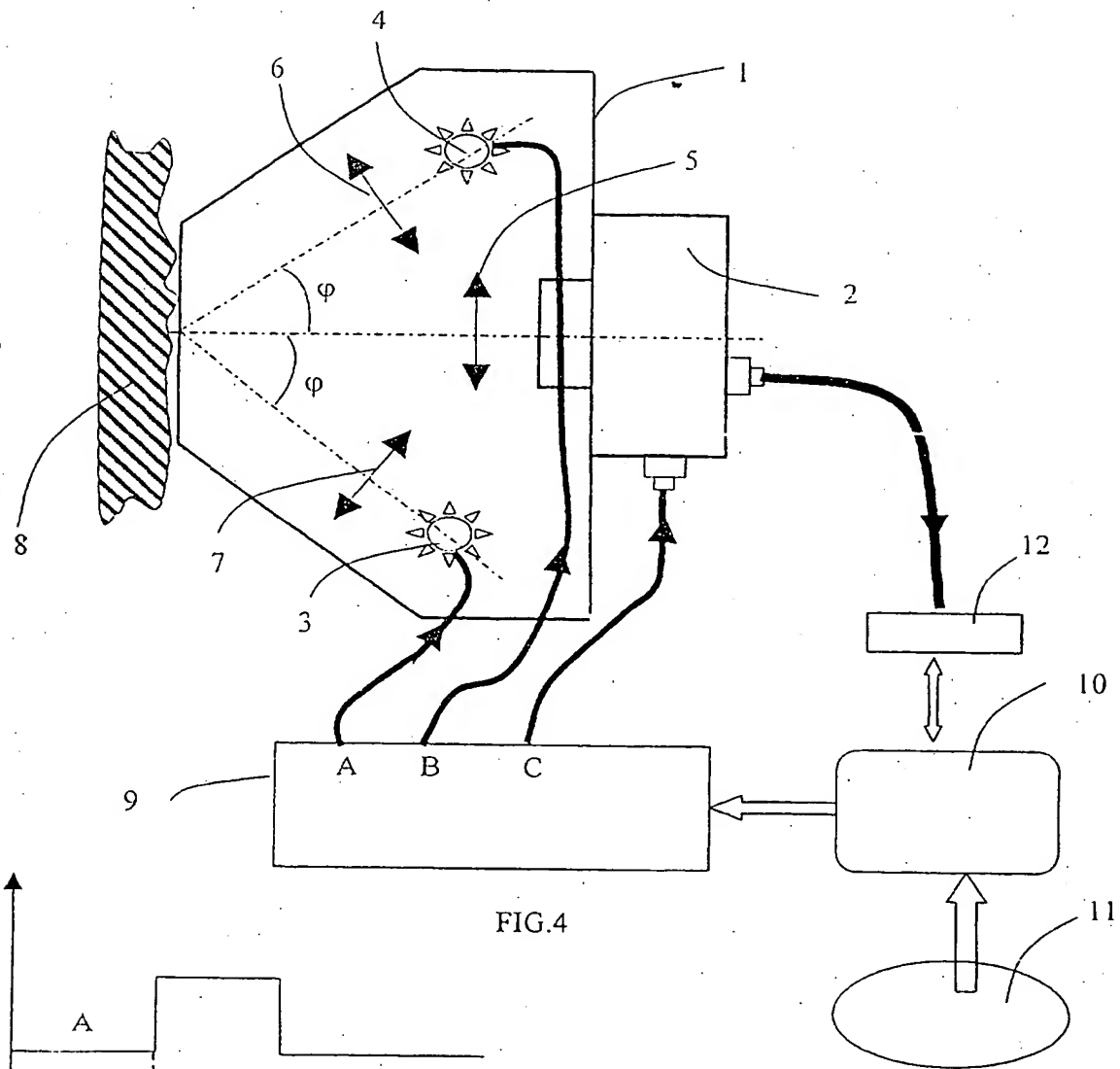


FIG. 4

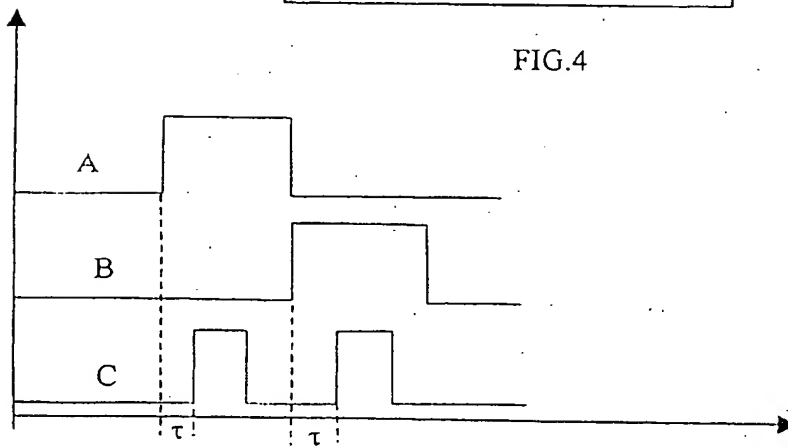


FIG. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**